

豆乳を用いた新規発酵食品の科学

管理栄養学科 江崎 秀男

1. はじめに

豆乳は、浸漬大豆を水とともに摩砕して得られた呉（ご）を加熱し、おからを取り分けた乳濁液である。この豆乳には、大豆由来の良質なたんぱく質、脂質、ビタミン、ミネラルなどの他、人の健康を維持・増進させる生理機能成分（food factor）が数多く含まれている。大豆中のたんぱく質は栄養価も高く、血漿コレステロールを低下させたり、肥満や糖尿病発症の抑制への効果が期待されている。また、大豆や豆乳中に含まれるイソフラボン類は多種多様な生理機能を示し（図1）、予防医学の面からも注目されている。このイソフラボンはエストロゲン作用を示し、骨粗しょう症の予防、更年期障害の改善などに寄与する¹⁾。また、この物質はエストロゲンと拮抗的に働き（抗エストロゲン作用）、その活性レベルを低下させ、乳がんや子宮内膜がんの予防に役立つ。

その他、サポニン類は抗酸化作用を示し、生活習慣病や老化の防止に繋がる。また、大豆オリゴ糖であるラフィノースやスタキオースは、腸内の善玉菌であるビフィズス菌の増殖因子として注目されている。

豆乳は青臭さなどの問題もあり、飲料として用いられることは少なかったが、近年の製造法の進歩による風味の改善や、健康志向・自然志向の高まりにより、その消費量は伸びている。豆乳の国内生産量は平成23年度で約22万kLであり、この値は平成10年度に比べると約6.4倍となっている。しかし日本人の年間一人当たりの豆乳の消費量（1.7L）は、同じアジア諸国であるマレーシア（4.0L）、タイ（8.9L）、韓国（5.1L）などと比較すると少なく²⁾、今後その消費を増やすことが望まれる。

近年、この豆乳を料理の素材として利用したり、乳酸菌を用いて発酵させた乳酸発酵豆乳（豆乳ヨーグルト）が市場に出回っている。また、この豆乳ヨーグルトが腸内フローラを改善し腸内環境を整えるとともに³⁾、脂質代謝の改善に役立つという報告もある^{4) 5)}。

わが国では、古くから豆乳の原料である大豆を用いて、味噌、醤油、納豆などの大豆発酵食品が造られてきた。これらの発酵食品は、各種微生物の働きによって大豆そのものに比べ、栄養機能、嗜好機能、生体調節機能を向上させることが知られている^{6) 7)}。私たちの研究室においても、豆味噌などの大豆発酵食品は、原料大豆に比べ高い抗酸化性を示し、食品の酸化的品質劣化を抑制するのみならず^{8) 9)}、生体内においても抗酸化的に働き、種々の酸化ストレスを軽減する可能性を明らかにした¹⁰⁾。

最近、豆乳の用途拡大および保健機能の向上を目指し、豆乳から乳酸発酵豆乳、またこの発酵豆乳よりカード（凝乳・凝固物）を調製し、カマンベールチーズカビおよびロックフォールチーズカビを用いたチーズ様食品（以後、豆乳チーズと略す）を調製し、これらの官能評価および特性を調べる（嗜好性評価）とともに、これまで報告例のない“発酵・

熟成にともなう抗酸化活性の変動および大豆イソフラボン類の変化”を調べ（機能性評価）、新規食品としての評価を行った¹¹⁾。本稿においては、その内容を紹介する。

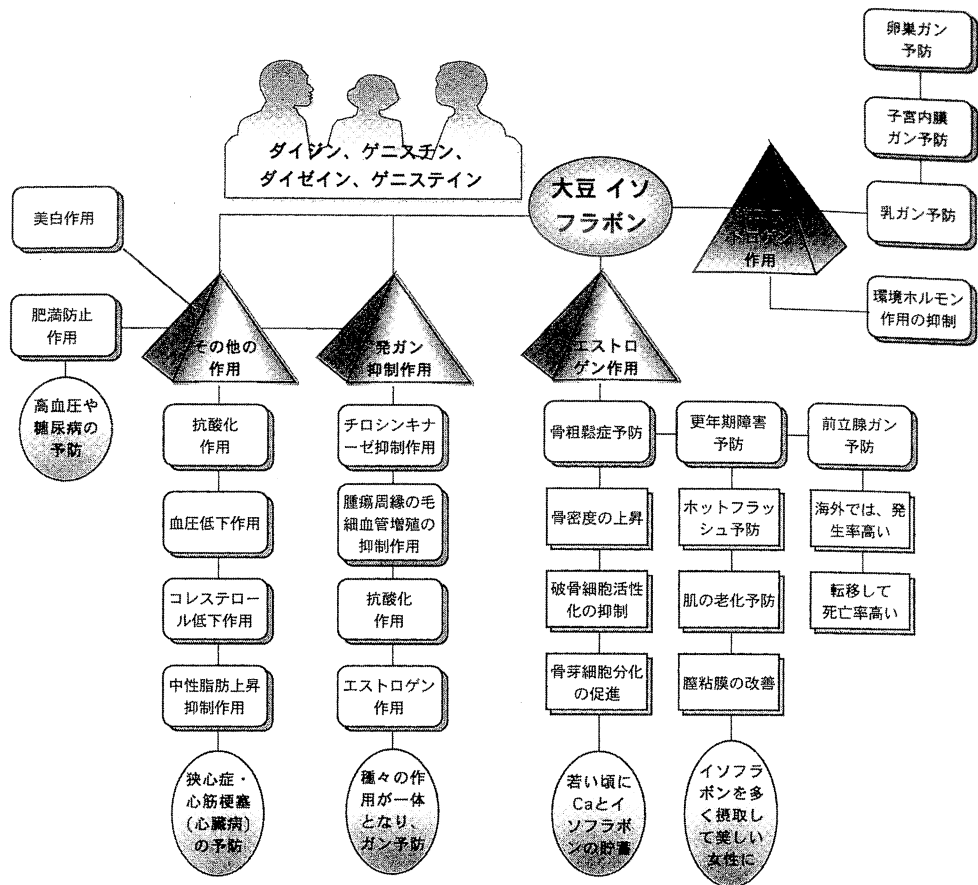


図 1 大豆イソフラボンの生理・生体調節機能（参考文献¹¹⁾などの内容を図式化）

2. 乳酸発酵豆乳の生菌数、pH、酸度および凝固状態

K 社の無調整豆乳（大豆固形分 8% 以上）に、表 1 に示す乳酸菌 11 菌株を接種し、35℃ で 24 時間の静置培養を行い、乳酸発酵豆乳を調製した。使用した 11 菌株の乳酸菌のうち、9 菌株において豆乳の凝固がみられた。凝固した発酵豆乳は、乳酸菌の生育により pH は大豆タンパク質の等電点である 4 ～ 5 付近となっており、pH が低く、酸度の上昇が大きいものほど、しっかりとした凝固状態を示した。このうち *Lb. casei* MAFF 401404 を用いた発酵豆乳の形状は、滑らかなプレーンヨーグルト状であった。他の乳酸発酵豆乳の中には、離水が多いものや、カード中に小さな塊が認められるものもあり、滑らかなものは少なかった。乳酸発酵豆乳 1g 中の生菌数は、ほとんどのものにおいて 10⁸ から 10⁹ レベルであり、乳等省令で定められている乳を用いた発酵乳の生菌数 10⁷/g 中を満たすものであった。また、*Lb. casei* MAFF 401404 を用いた発酵豆乳の生菌数は、本実験で調製した発酵豆乳の中で最も多い（1.4×10¹⁰cfu/g）ことから、この乳酸菌は豆乳の発酵に適した菌株であると

考えられた。この乳酸菌を用いた発酵豆乳（35℃ で培養）の生菌数は、3 時間で 1.4×10^7 cfu/g、6 時間で 3.2×10^7 cfu/g を示したが、これらの培養時間では豆乳は凝固しなかった。

表 1 各種乳酸発酵豆乳の生菌数、pH、酸度および凝固状態

	生菌数 (cfu/g)	pH	酸度 (%)	状態
豆乳		6.5	0.5	
<i>Lactobacillus plantarum</i> NBRC* 15891	9.0×10^8	4.6	1.7	凝固
<i>Lactobacillus plantarum</i> - 4	2.6×10^8	4.7	1.7	凝固
<i>Lactobacillus plantarum</i> ATCC** 14917	1.0×10^9	4.8	1.7	凝固
<i>Lactobacillus casei</i> MAFF*** 401403	1.3×10^9	4.6	1.7	凝固
<i>Lactobacillus casei</i> MAFF 401404	1.4×10^{10}	4.8	1.8	凝固
<i>Lactobacillus casei</i> MAFF 401405	2.1×10^9	4.5	2.2	凝固
<i>Lactobacillus sakei</i> NBRC 3541	1.1×10^8	5.6	0.7	凝固
<i>Lactobacillus acidophilus</i> R - 26	4.5×10^8	6.7	0.5	非凝固
<i>Pediococcus pentosaceus</i> ATCC 43200	2.6×10^8	6.4	0.8	非凝固
<i>Pediococcus cerevisiae</i> - 1	1.7×10^8	4.9	1.3	凝固
<i>Leuconostoc</i> sp. D - 133	5.3×10^8	4.9	1.3	凝固

*NBRC: NITE Biological Resource Center, Japan

**ATCC: American Type Culture Collection, USA

***MAFF: MAFF Genebank, National Institute Agrobiological Sciences, Japan

各種乳酸菌を用いた発酵豆乳の調製は、2 検体で行った。生菌数の測定は、発酵豆乳の各希釈液につきそれぞれ 2 連で行った。表中の各数値は、2 検体の平均値を示す。凝固の状態は、2 検体において同様であった。

3. 乳酸発酵豆乳の官能評価

凝固した乳酸発酵豆乳の 9 種類について、酸味、風味、口当たり、後味および総合評価の 5 項目を 5 点評価法により評価した（表 2）。パネリストは、乳酸発酵豆乳の食経験がある椋山女学園大学管理栄養学科の学生（4 年生）19 名とした。その結果、*Lb. casei* MAFF 401404 を用いた乳酸発酵豆乳が、風味、口当たりおよび総合評価において、それぞれ 4.2 点、4.4 点および 3.9 点の高得点を示した。酸味においては、*Lb. plantarum* NBRC 15891 を用いた発酵豆乳が最も高得点（3.8 点）を示したが、*Lb. casei* MAFF 401404 を用いたものもそれに次ぐ得点（3.7 点）であった。また、後味においても *Lb. plantarum*-4、*Lb. casei* MAFF 401405 および *Lb. sakei* NBRC 3541 が最も高得点（3.7 点）であったが、*Lb. casei* MAFF 401404 を用いた発酵豆乳も高い得点（3.6 点）を示した。これらの結果より、滑らかなプレーンヨーグルト状に凝固した *Lb. casei* MAFF 401404 を用いた乳酸発酵豆乳は、官能評価試験のいずれの項目においても高得点を獲得し、バランスのとれた乳酸発酵豆乳であると考えられる。また、以後の豆乳チーズの調製には、この菌株を用いることにした。

表 2 各種乳酸発酵豆乳の官能評価

	酸味	風味	口当たり	後味	総合評価
<i>Lb. plantarum</i> NBRC 15891	3.8 ± 0.9	3.3 ± 1.2	3.3 ± 1.2	3.2 ± 1.3	3.5 ± 1.0
<i>Lb. plantarum</i> - 4	3.3 ± 1.2	3.3 ± 0.9	3.4 ± 0.9	3.7 ± 1.0	3.6 ± 0.7
<i>Lb. plantarum</i> ATCC 14917	3.5 ± 1.0	3.3 ± 0.5	3.6 ± 0.7	3.2 ± 1.0	3.3 ± 0.7
<i>Lb. casei</i> MAFF 401403	3.5 ± 1.2	3.1 ± 1.1	3.3 ± 0.8	3.2 ± 1.4	3.1 ± 0.9
<i>Lb. casei</i> MAFF 401404	3.7 ± 1.0	4.2 ± 0.7	4.4 ± 0.8	3.6 ± 1.0	3.9 ± 0.9
<i>Lb. casei</i> MAFF 401405	3.7 ± 1.2	3.6 ± 1.0	3.7 ± 1.0	3.7 ± 1.1	3.7 ± 1.2
<i>Lb. sakei</i> NBRC 3541	2.1 ± 1.2	3.7 ± 0.9	4.2 ± 1.1	3.7 ± 1.0	3.3 ± 1.2
<i>P. cerevisiae</i> - 1	3.6 ± 0.8	3.3 ± 1.0	3.5 ± 0.9	3.3 ± 1.2	3.2 ± 1.0
<i>Leuconostoc</i> sp. D - 133	2.6 ± 0.9	3.1 ± 0.9	2.9 ± 1.0	2.7 ± 1.2	2.5 ± 0.8

官能評価試験は、乳酸発酵豆乳の食経験がある女子学生 19 名により、表中の 5 項目について 5 点評価法で行った。表中の数値は、各項目における平均値 ± 標準偏差を示す。

4. 豆乳チーズのホルモール態窒素量および遊離アミノ酸量

Lb. casei MAFF 401404 を用いて調製した発酵豆乳を、木綿布を敷いた豆腐型に詰め、重量負荷を課しながら圧搾を行い(4℃、28 時間)、ホエーを除去し、カードを得た。このカードに、カマンベールチーズカビ *Penicillium camemberti* NBRC 32215 (以後、*P. camemberti* NBRC 32215 と略す) およびロックフォールチーズカビ *Penicillium roqueforti* NBRC 4622 (以後、*P. roqueforti* NBRC 4622 と略す) を接種し、15℃、湿度 60 ～ 70% の培養条件で 8 日間および 14 日間の発酵・熟成を行い、豆乳チーズを調製した。

P. camemberti NBRC 32215 で培養した豆乳チーズでは、1 ～ 2 日目にその表面に菌糸体の生育が見られ、数日後には孢子形成が認められた。一方、*P. roqueforti* NBRC 4622 で培養したものでは、孢子着生の進行とともに、チーズ表面は青色に変化した。発酵・熟成の進行とともに、いずれの豆乳チーズにおいても pH の上昇が認められた。チーズ組織の軟化も表層部から深層部に向かって進行し、*P. camemberti* NBRC 32215 を用いた豆乳チーズは、*P. roqueforti* NBRC 4622 を用いたものよりクリーミーな状態であった。

2 種類のチーズカビで 8 日間および 14 日間の発酵・熟成を行った豆乳チーズは、凍結乾燥粉末 (FDP) とし、旨みの指標となるホルモール態窒素量を測定した。図 2 から明らかなように、カード中のホルモール態窒素量は 0.05 N g / 100g of FDP であったが、チーズカビの発酵・熟成にともない有意な ($p < 0.01$) 増加が認められた。14 日間の発酵・熟成を行った豆乳チーズでは、*P. camemberti* NBRC 32215 で 0.50 N g / 100g of FDP、*P. roqueforti* NBRC 4622 で 0.55 N g / 100g of FDP を示した。

また、アミノ酸分析により豆乳チーズ中の遊離アミノ酸組成を調べた。発酵前のカード中の遊離アミノ酸総量は、441mg / 100g of FDP であったが、*P. camemberti* NBRC 32215 を用いて 14 日間の発酵・熟成を行った豆乳チーズでは約 3.3 倍に増加した。また *P. roqueforti* NBRC 4622 では、その増加の割合は大きく約 6.4 倍となった。特に、旨みを呈す

るアミノ酸であるグルタミン酸 (Glu) は、*P. camemberti* NBRC 32215 を用いた豆乳チーズではカードの約 2.9 倍 (427mg / 100g of FDP) に、また *P. roqueforti* NBRC 4622 を用いた豆乳チーズでは約 5.7 倍 (838mg / 100g of FDP) に増加した。

豆乳チーズ中のホルモール態窒素量および遊離アミノ酸量 (グルタミン酸量) が発酵・熟成により顕著に増加したのは、カード中のたんぱく質がチーズカビの産生するプロテアーゼによって分解され、低分子のペプチドや遊離のアミノ酸が生成されたためであると考察される。特に、発酵・熟成により生成したグルタミン酸は、豆乳チーズの旨みの増強に寄与すると考えられる。

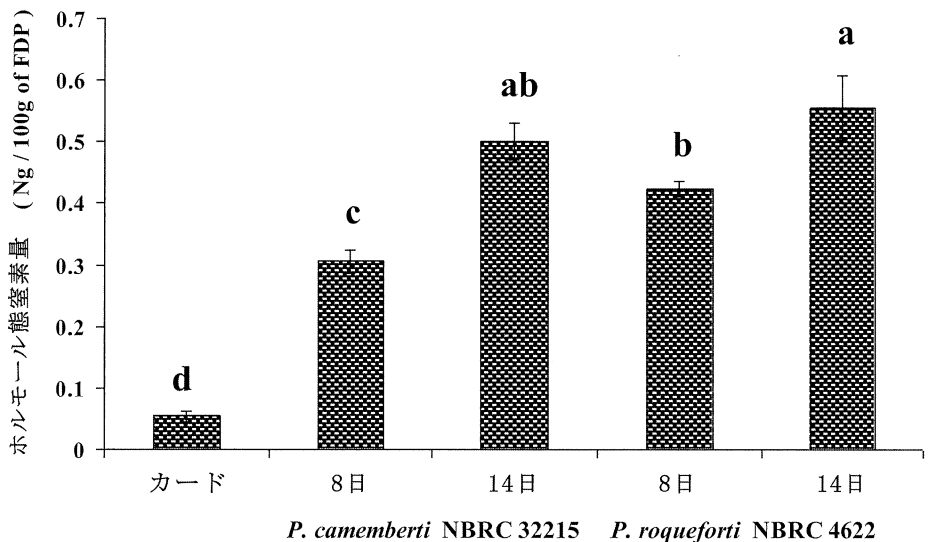


図2 *P. camemberti* NBRC 32215 および *P. roqueforti* NBRC 4622 で発酵・熟成 (8 日間、14 日間) させた豆乳チーズのホルモール態窒素量

P. camemberti NBRC 32215 および *P. roqueforti* NBRC 4622 を用いた豆乳チーズは、*Lactobacillus casei* MAFF 401404 で培養した乳酸発酵豆乳のカードを用いて調製した。それぞれのグラフの値は、平均値 ± 標準偏差 ($n=3$) を示す。異なるアルファベットは、有意差 ($p<0.01$ 、Tukey 検定) を示す。

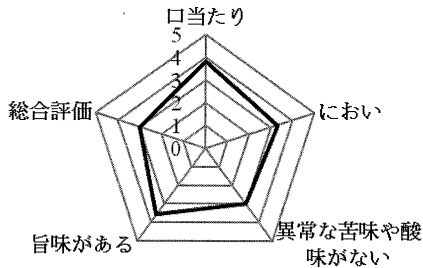
5. 豆乳チーズの官能評価

P. camemberti NBRC 32215 および *P. roqueforti* NBRC 4622 で 14 日間発酵・熟成させた豆乳チーズについて、口当たり、におい、異常な苦味や酸味がない、旨みがあるおよび総合評価の 5 項目を 5 点評価法により評価した (図 3)。パネリストは、相山女学園大学管理栄養学科の学生 (4 年生) 14 名とした。口当たりにおいては、*P. camemberti* NBRC 32215 を用いたクリーミーな状態である豆乳チーズが高得点 (3.8 点) を示した。*P. roqueforti* NBRC 4622 を用いたチーズも良好な評価 (3.4 点) を得た。旨みにおいても両チーズともに 3.2 点以上を獲得した。総合評価は両チーズで 3.0 点となった。5 項目の合計点数も、*P. camemberti* NBRC 32215 および *P. roqueforti* NBRC 4622 の豆乳チーズで、ともに 16.7 点と

なり、かなり高い評価を得ることができた。

今後、種々のチーズカビを用いて、またその発酵・熟成の方法を改良し、より香味の優れた豆乳チーズの調製を行いたい。

P. camemberti NBRC 32215



P. roqueforti NBRC 4622

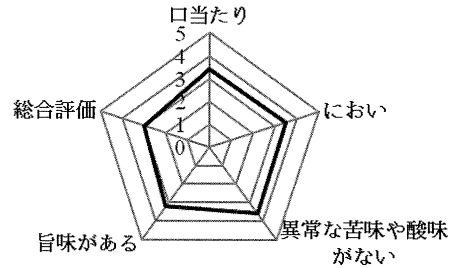


図 3 *P. camemberti* NBRC 32215 および *P. roqueforti* NBRC 4622 で 14 日間発酵・熟成させた豆乳チーズの官能評価

官能評価試験は女子学生 14 名により、図中の 5 項目について 5 点評価法で行った。レーダーチャートにおける各項目の値は、平均値を示す。この試験は、2 回の繰り返しを行った。

6. 乳酸発酵豆乳および豆乳チーズの抗酸化性

食品のもつ抗酸化性は、食品の品質劣化を抑制するのみならず、生体内においても活性酸素やフリーラジカルを捕捉し、がんをはじめとする種々の生活習慣病の予防や老化抑制に寄与する。

まず、凝固した 9 種類の乳酸発酵豆乳（表 1）の凍結乾燥粉末（FDP）を用いて 75% エタノール抽出液を調製し、DPPH（1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl）法¹²⁾によりこの抽出液の抗酸化活性を測定したが、原料豆乳との間に活性の差はほとんど認められなかった。

同様に、*Lb. casei* MAFF 401404 で発酵させた乳酸発酵豆乳より調製したカード、またこのカードを 2 種類のチーズカビ（*P. camemberti* NBRC 32215 および *P. roqueforti* NBRC 4622）で発酵・熟成させた豆乳チーズを用いて抗酸化活性を測定し、その結果を図 4 に示した。カードの抗酸化活性は $1.6 \mu\text{mol}$ トロロックス当量 / g of FDP であったが、どちらのチーズカビを用いた場合も、豆乳チーズの抗酸化活性はカードに比較してともに有意に高い値を示した。*P. camemberti* NBRC 32215 を用いた豆乳チーズの活性は、8 日間のもので約 2.0 倍、14 日間のもので約 2.7 倍となり、発酵・熟成にともなって抗酸化活性は有意に ($p < 0.01$) 上昇した。また、*P. roqueforti* NBRC 4622 を用いた場合も 8 日間の発酵・熟成で約 2.5 倍となった。この抗酸化活性は、14 日間の豆乳チーズでもほとんど変わらなかった。本研究においては、乳を原料とした市販の A 社および B 社の国産カマンベールチーズを入手し、豆乳チーズの場合と同様の方法で抗酸化活性を調べたところ、それぞれ $1.1 \pm 0.05 \mu\text{mol}$ および $0.6 \pm 0.06 \mu\text{mol}$ トロロックス当量 / g of FDP ($n=3$) を示した。この結果より、今回調製した豆乳チーズは、市販のカマンベールチーズより強い抗酸化能をもつことが分かった。

今後、これらの豆乳チーズ中の抗酸化物質を分離・精製し、その化学構造を明らかにす

るとともに、その生成メカニズムを調べる必要がある。同時に、より強い抗酸化能をもつ豆乳チーズの開発を検討したい。

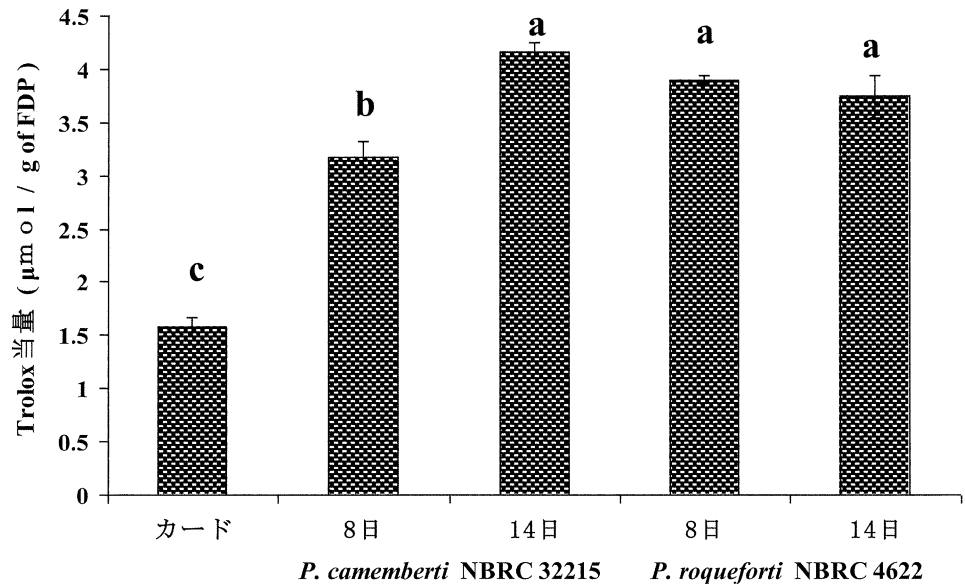


図4 *P. camemberti* NBRC 32215 および *P. roqueforti* NBRC 4622 で発酵・熟成（8日間、14日間）させた豆乳チーズの抗酸化活性

それぞれのグラフの値は、平均値 ± 標準偏差（ $n=3$ ）を示す。異なるアルファベットは、有意差（ $p<0.01$ 、Tukey 検定）を示す。

7. 乳酸発酵豆乳調製時におけるイソフラボン類の変化

凝固した乳酸発酵豆乳 9 種類および原料豆乳について、各種イソフラボンの HPLC 分析を行い、その結果を表 3 に示した。今回使用した豆乳中には、マロニル配糖体であるマロニルダイジンおよびマロニルゲニスチンが最も多く含まれており、両者合わせて約 60% を占めていた。次いで、グルコシル配糖体であるダイジンおよびゲニスチンが約 40% を占めた。一方、アグリコンのダイゼインおよびゲニステインはほとんど含まれていなかった。

本研究で使用した乳酸菌のうち、*Lb. plantarum*、*Lb. casei*、*Lb. sakei*、*P. cerevisiae* および *Leuconostoc* sp. を用いた 9 種類で凝固した乳酸発酵豆乳を調製することができたが、この中で *Lb. plantarum* および *Lb. casei* を用いた 6 種類の発酵豆乳においてはダイジンおよびゲニスチンのアグリコン化が進行し、それぞれダイゼインおよびゲニステインを生成した。しかし、豆乳中のマロニル配糖体であるマロニルダイジンおよびマロニルゲニスチンは、いずれの乳酸菌においても分解されなかった。Izumi ら¹³⁾ は、大豆イソフラボンのアグリコンは配糖体に比較して生体内へより早く吸収され、その吸収率も高いことを報告している。また、これらイソフラボン類（配糖体群およびアグリコン群）を長期摂取した場合、アグリコン含量の多いものは、冠状動脈性心疾患やがんなどの予防に効果的であると述べている。通常、大豆イソフラボンのグルコシル配糖体は腸内善玉菌であるビフィズス菌

(*Bifidobacterium longum*)¹⁴⁾ や、乳酸菌 (*Lb. casei*)¹⁵⁾ の産生する β -グルコシダーゼによって酵素的に分解されてアグリコンを生成することが知られているが、この分解には腸内環境が大きく関与する。近年、漬物から分離した *Lb. plantarum*¹⁶⁾ や、果物や野菜から分離した種々の植物由来の乳酸菌¹⁷⁾ が、豆乳中のグルコシル配糖体を分解することが報告されている。表3においても、*Lb. casei* に属する3菌株はグルコシル配糖体を効率良く分解し、アグリコンを生成した。また、*Lb. plantarum* の3菌株においても同様のアグリコン化は進行したが、*Lb. plantarum*-4による分解は緩慢でありダイジンで55%、ゲニスチンで47%であった。一方、*Lb. sakei* NBRC 3541 および *Leuconostoc sp.* D-133 の菌株においては、このアグリコン化はほとんど進行しなかった。

表3 各種乳酸菌を用いた発酵豆乳中の各イソフラボン含量

	ダイジン	マロニル ダイジン	ダイゼイン	ゲニスチン	マロニル ゲニスチン	ゲニステイン
豆乳	0.260	0.416	0.008	0.336	0.531	0.007
<i>Lb. plantarum</i> NBRC 15891	0.009	0.414	0.277	0.048	0.496	0.279
<i>Lb. plantarum</i> - 4	0.118	0.332	0.209	0.179	0.424	0.192
<i>Lb. plantarum</i> ATCC 14917	0.014	0.327	0.321	0.064	0.408	0.318
<i>Lb. casei</i> MAFF 401403	0.010	0.396	0.263	0.045	0.477	0.269
<i>Lb. casei</i> MAFF 401404	0.009	0.404	0.284	0.037	0.485	0.295
<i>Lb. casei</i> MAFF 401405	0.021	0.332	0.332	0.057	0.399	0.312
<i>Lb. sakei</i> NBRC 3541	0.324	0.351	0.009	0.388	0.423	0.008
<i>P. cerevisiae</i> - 1	0.149	0.400	0.028	0.209	0.509	0.072
<i>Leuconostoc sp.</i> D - 133	0.243	0.411	0.013	0.320	0.524	0.034

豆乳および各種乳酸発酵豆乳中の各イソフラボン量は、FDP1g 中のアグリコン相当量 (mg) として示した。表中の各数値は、2 検体の平均値を示す。

8. 豆乳チーズ調製時におけるイソフラボン類の変化

カードに *P. camemberti* NBRC 32215 および *P. roqueforti* NBRC 4622 をそれぞれ接種し、発酵・熟成（8日間、14日間）を行った豆乳チーズ中のイソフラボン類の含量（アグリコン相当量）を表4に示した。豆乳の乳酸発酵時には分解されず、カード中に残存していたマロニルダイジンおよびマロニルゲニスチンは、今回使用した2種類のチーズカビで分解され、それぞれダイゼインおよびゲニステインを生成した。特に、*P. roqueforti* NBRC 4622 を用いた豆乳チーズではこのアグリコン化が円滑に進行し、14日間の発酵・熟成を終えた豆乳チーズでは、アグリコンの占める割合は約90%であった。このマロニル配糖体のアグリコン化には、その構造から推察して、マロニル基を脱離させるエステラーゼと β -グルコシダーゼの作用が不可欠であると考えられる。今後、チーズカビが産生するこれらの酵素の特性や分解のメカニズムを明らかにするとともに、効率良くアグリコン化が進行する豆乳チーズの発酵・熟成法を検討することは重要な課題である。

以上の結果を総合すると、本研究で調製した豆乳チーズは、官能評価において良好な結果を得、さらに抗酸化性を示し、また豆乳中のイソフラボン配糖体はアグリコン化されて

おり機能性が期待されることから、将来、一食品として消費者に受け入れられる可能性が示唆される。

表 4 *P. camemberti* NBRC 32215 および *P. roqueforti* NBRC 4622 を用いた豆乳チーズ中の各イソフラボン含量

	ダイジン	マロニル ダイジン	ダイゼイン	ゲニスチン	マロニル ゲニスチン	ゲニステイン
カード	0.005 ± 0.001	0.273 ± 0.003	0.238 ± 0.003	0.024 ± 0.002	0.518 ± 0.008	0.422 ± 0.006
<i>P. camemberti</i> NBRC 32215 (8 日)	ND	0.204 ± 0.003	0.308 ± 0.001	0.027 ± 0.001	0.454 ± 0.005	0.584 ± 0.007
<i>P. camemberti</i> NBRC 32215 (14 日)	ND	0.118 ± 0.016	0.283 ± 0.016	0.027 ± 0.001	0.311 ± 0.031	0.569 ± 0.028
<i>P. roqueforti</i> NBRC 4622 (8 日)	ND	0.102 ± 0.011	0.439 ± 0.011	0.017 ± 0.002	0.276 ± 0.022	0.884 ± 0.022
<i>P. roqueforti</i> NBRC 4622 (14 日)	ND	0.036 ± 0.001	0.501 ± 0.025	0.012 ± 0.001	0.126 ± 0.003	1.038 ± 0.057

ND : not detected

カードおよび豆乳チーズ中の各イソフラボン量は、FDP1g 中のアグリコン相当量 (mg) として示した。表中の各数値は、平均値 ± 標準偏差 (n=3) を示す。

9. おわりに

豆乳は栄養価に優れ、イソフラボン類などの機能性成分を含むが、その消費量は多くない。本研究では、豆乳の用途拡大および保健機能性の向上を目指し、豆乳から乳酸発酵豆乳、さらには豆乳チーズを試作するとともに、これらの抗酸化性の評価および主要成分の分析を行った。

11 菌株の乳酸菌で豆乳を発酵させたところ、9 菌株において凝固が認められた。イソフラボン分析の結果、*Lactobacillus plantarum* および *Lactobacillus casei* を用いた乳酸発酵豆乳では、豆乳中のグルコシル配糖体であるダイジンおよびゲニスチンは効率よく分解され、それぞれダイゼインおよびゲニステインを生成した。しかし、いずれの乳酸菌においてもマロニル配糖体は分解されなかった。*Lb. casei* MAFF 401404 を用いた乳酸発酵豆乳は、滑らかなプレーンヨーグルト状に凝固し、官能評価においても高得点を収めた。この発酵豆乳よりカードを調製し、カマンベールチーズカビ (*Penicillium camemberti* NBRC 32215) およびロックフォールチーズカビ (*Penicillium roqueforti* NBRC 4622) を用いて豆乳チーズを調製した。いずれのチーズカビを用いた場合も、発酵・熟成にともない、ホルモール態窒素量および旨みを呈するグルタミン酸やアスパラギン酸の含量が顕著に増加した。また、官能評価においても高得点を得た。DPPH 法による抗酸化試験の結果、豆乳チーズの抗酸化活性も発酵・熟成中に有意に (p<0.01) 上昇し、カードの 2 ～ 3 倍に増大した。また、豆乳の乳酸発酵時には残存していたマロニル配糖体も、これらのチーズカビによって分解され、体内吸収性に優れたアグリコンに変換された。これらの結果より、この豆乳を用いたチーズ様食品は、将来、高付加価値をもつ新規食品として受け入れられる可能性が高いと考えられる。

参考文献

- 1) 家森幸男ら、大豆イソフラボン、幸書房（東京）、p. 39（1998）
- 2) [http : //www.tounyu.jp/index.html](http://www.tounyu.jp/index.html)
- 3) 荒 勝俊ら、日食工誌、**48**、807（2001）
- 4) 原田智子ら、日食工誌、**57**、175（2010）
- 5) 平畑理映ら、日食工誌、**59**、528（2012）
- 6) 堀井正治ら、日食工誌、**37**、148（1990）
- 7) Sumi, H. *et al.*, *Experientia*, **43**, 1110（1987）
- 8) Esaki, H. *et al.*, In “Food phytochemicals for cancer prevention I” , 1st ed., eds. Huang, M.-T., *et al.*, American Chemical Society, Washington, DC, p. 353（1994）
- 9) 江崎秀男ら、日食工誌、**48**、189（2001）
- 10) Esaki, H. *et al.*, *J. Nutr. Sci. Vitaminol*, **51**, 80（2005）
- 11) 西山美樹ら、日食工誌、**60**、480（2013）
- 12) 沖智之ら、機能性評価実験法、「食品機能性評価マニュアル集」、第Ⅱ集、食品機能性評価支援センター技術普及資料等検討委員会編、p. 71（2008）
- 13) Izumi, T. *et al.*, *J. Nutr.*, **130**, 1695（2000）
- 14) Tangalis, D. *et al.*, *J. Food Sci.*, **67**, 3104（2002）
- 15) Otieno, D.O. *et al.*, *Food Res. Int.*, **39**, 394（2006）
- 16) 中川良二ら、北海道立総合研究機構食品加工研究センター研究報告、**9**、21（2011）
- 17) 上野八重子ら、日食工誌、**58**、173（2011）